

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Национальный исследовательский ядерный университет «МИФИ»

ИНСТИТУТ ЛАЗЕРНЫХ И ПЛАЗМЕННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ
КАФЕДРА ПРИКЛАДНОЙ МАТЕМАТИКИ

ОДОБРЕНО
УМС ЛАПЛАЗ Протокол №1/08-577 от 29.08.2024 г.
УМС ИИКС Протокол №8/1/2025 от 25.08.2025 г.

РАБОЧАЯ ПРОГРАММА УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ЧИСЛЕННЫЕ МЕТОДЫ НА НЕОРТОГОНАЛЬНЫХ СЕТКАХ

Направление подготовки
(специальность)

[1] 01.03.02 Прикладная математика и информатика

Семестр	Трудоемкость, кредит.	Общий объем курса, час.	Лекции, час.	Практич. занятия, час.	Лаборат. работы, час.	В форме практических подготовки/ В	СРС, час.	KCP, час.	Форма(ы) контроля, экз./зач./КР/КП
8	2	72	15	15	0		6	0	Э
Итого	2	72	15	15	0	32	6	0	

АННОТАЦИЯ

Курс является логическим продолжением курса «Численные методы» и во многом обобщает результаты, полученные в рамках указанного курса. Рассматривается применение аппарата математического моделирования для решения прикладных задач, связанных с описанием реальных физических процессов. Освещаются классические и современные методы построения сеточных аппроксимаций дифференциальных моделей со сложной геометрией. Большое внимание уделено применению метода конечных объемов на индексных и нерегулярных сетках. Подробно рассматривается метод динамической адаптации для численного решения нелинейных задач на сетках малой размерности.

1. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ОСВОЕНИЯ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Целями освоения учебной дисциплины являются освоение основных идей численных методов основанных на применении неортогональных сеток при решении важных прикладных задач и использование данной методики как готового инструмента практической работы при проектировании и разработке систем матобеспечения, математической обработке данных технических, экономических и других задач, построении алгоритмов и организации вычислительных процессов на ЭВМ.

2. МЕСТО УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ В СТРУКТУРЕ ООП ВО

Дисциплина логически и содержательно-методически связана с материалами следующих дисциплин, читаемых студентам физико-математических специальностей: численные методы, уравнения математической физики, линейная алгебра, математический анализ.

Для успешного освоения дисциплины необходимы знания по курсам численных методов, практикума на ЭВМ, римановой геометрии и тензорного анализа. Необходимо уметь работать с матрицами, решать дифференциальные и интегральные уравнения, знать дифференциальное и интегральное исчисление, владеть различными высокоуровневыми языками программирования.

Полученные в результате освоения данной дисциплины навыки и знания используются, при подготовке дипломных проектов, при проведении научно-исследований.

3. ФОРМИРУЕМЫЕ КОМПЕТЕНЦИИ И ПЛАНИРУЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ОБУЧЕНИЯ

Универсальные и(или) общепрофессиональные компетенции:

Код и наименование компетенции	Код и наименование индикатора достижения компетенции
---------------------------------------	---

Профессиональные компетенции в соответствии с задачами и объектами (областями знаний) профессиональной деятельности:

Задача профессиональной деятельности (ЗПД)	Объект или область знания	Код и наименование профессиональной компетенции;	Код и наименование индикатора достижения
---	----------------------------------	---	---

		Основание (профессиональный стандарт-ПС, анализ опыта)	профессиональной компетенции
научно-исследовательский			
Использование современного математического аппарата, вычислительной техники и программного обеспечения для создания цифровых двойников объектов и процессов.	Виртуальные модели, описывающие различные физические, технологические, экономические и другие процессы.	<p>ПК-8.1 [1] - способен создавать цифровых двойников физических объектов и процессов</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001, 06.042</p>	<p>З-ПК-8.1[1] - Знать математические алгоритмы, подходы и методы для создания моделей процессов в бизнесе, науке и технике ;</p> <p>У-ПК-8.1[1] - Уметь использовать современный математический аппарата и прикладные программные комплексы для моделирования технологических и бизнес-процессов;</p> <p>В-ПК-8.1[1] - Владеть навыками создания цифровых двойников</p>
Использование современного математического аппарата, вычислительной техники и программного обеспечения для сбора, анализа и обработки данных.	Данные, описывающие различные физические, технологические, экономические и др. процессы.	<p>ПК-3.1 [1] - способен применять современные методы обработки, анализа и визуализации данных в различных предметных областях с использованием современного математического аппарата и компьютерных технологий</p> <p><i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 06.001, 06.042</p>	<p>З-ПК-3.1[1] - Знать базовые методы и алгоритмы обработки данных;;</p> <p>У-ПК-3.1[1] - Уметь использовать современный математический аппарата и цифровые технологии для проведения анализа данных и моделирования физических процессов;</p> <p>В-ПК-3.1[1] - Владеть навыками обработки и анализа данных, навыками математического моделирования физических процессов</p>
проектный			
Реализация научных проектов, составление	Научно-исследовательские	ПК-5 [1] - способен к разработке, реализации	З-ПК-5[1] - знать принципы оценки

научно-технических отчетов, конкурсной документации, экспертиза научных проектов по тематике профессиональной деятельности, составление рецензий на научные статьи, подготовка заявок на выполнение научно-исследовательских проектов.	проекты, научно-техническая документация, научные статьи и заявки на проведение научно-исследовательских проектов.	и оценке проектов научно-исследовательской и инновационной направленности <i>Основание:</i> Профессиональный стандарт: 40.008, 40.011	научно-исследовательских проектов при проведении их экспертизы; ; У-ПК-5[1] - уметь проводить разработку и экспертизу научно-исследовательских проектов;; В-ПК-5[1] - владеть навыками разработки и экспертизы научно-исследовательских проектов;
--	--	---	---

4. ВОСПИТАТЕЛЬНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ ДИСЦИПЛИНЫ

Направления/цели воспитания	Задачи воспитания (код)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование ответственности за профессиональный выбор, профессиональное развитие и профессиональные решения (В18)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование научного мировоззрения, культуры поиска нестандартных научно-технических/практических решений, критического отношения к исследованиям лженаучного толка (В19)
Профессиональное воспитание	Создание условий, обеспечивающих, формирование профессионально значимых установок: не производить, не копировать и не использовать программные и технические средства, не приобретённые на законных основаниях; не нарушать признанные нормы авторского права; не нарушать тайны передачи сообщений, не практиковать вскрытие информационных систем и сетей передачи данных; соблюдать конфиденциальность доверенной информации (В40)

5. СТРУКТУРА И СОДЕРЖАНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Разделы учебной дисциплины, их объем, сроки изучения и формы контроля:

№ п.п	Наименование раздела учебной дисциплины	Недели	Лекции/ Практ. (семинары) / Лабораторные работы, час.	Обязат. текущий контроль (форма*, неделя)	Максимальный балл за раздел**	Аттестация раздела (форма*, неделя)	Индикаторы освоения компетенции
	<i>8 Семестр</i>						
1	Раздел 1	1-8	8/8/0		25	КИ-8	З-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
2	Раздел 2	9-15	7/7/0		25	КИ-15	З-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5
	<i>Итого за 8 Семестр</i>		15/15/0		50		
	Контрольные мероприятия за 8 Семестр				50	Э	З-ПК-8.1, У-ПК-8.1, В-ПК-8.1, З-ПК-3.1, У-ПК-3.1, В-ПК-3.1, З-ПК-5, У-ПК-5, В-ПК-5

* – сокращенное наименование формы контроля

** – сумма максимальных баллов должна быть равна 100 за семестр, включая зачет и (или) экзамен

Сокращение наименований форм текущего контроля и аттестации разделов:

Обозначение	Полное наименование
КИ	Контроль по итогам
Э	Экзамен

КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН

Недели	Темы занятий / Содержание	Лек.,	Пр./сем.,	Лаб.,
---------------	----------------------------------	--------------	------------------	--------------

		час.	час.	час.
	8 Семестр	15	15	0
1-8	Раздел 1	8	8	0
1 - 2	Тема 1. Основные понятия теории разностных схем Дискретизация дифференциальных уравнений. Определения аппроксимации, устойчивости и точности разностных схем и теорема об их взаимосвязи. Методы построения разностных схем: метод конечных разностей, интегро-интерполяционный метод, проекционно-сеточные методы. Методы исследования устойчивости разностных схем. Метод рядов Фурье, метод энергетических неравенств, принцип максимума, спектральный метод. Пределы детализации и формулировка моделей сплошных сред. Методы повышения устойчивости явных схем для параболических уравнений. Уравнения газовой динамики. Лагранжевы и эйлеровы переменные.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0 0	0 0 0
3 - 5	Тема 2. Методы численного решения одномерных уравнений диффузии Уравнение теплопроводности с нелинейной зависимостью коэффициента теплопроводности и источников тепла от температуры. Постановки задач с краевыми условиями. Аппроксимация уравнения теплопроводности на неравномерных пространственных сетках. Итерационные реализации метода прогонки для решения нелинейных систем сеточных уравнений теплопроводности. Постановка разностной задачи о формировании неподвижных фронтов для одномерной квазилинейной задачи теплопроводности с однородными граничными условиями.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0 0	0 0 0
6 - 8	Тема 3. Теоретические основы метода конечных элементов Метод конечных элементов. Метод взвешенных невязок Метод Бубнова-Галеркина. Обобщенные решения и слабая постановка задачи. Аппроксимация и сходимость метода Бубнова-Галеркина Вариационно-сеточные методы. Метод Ритца, метод наименьших квадратов. Метод конечных элементов. Двумерное уравнение Пуассона, линейная задача теории упругости. Разрывный метод Галеркина. Решение нестационарной задачи конвекции-диффузии.	Всего аудиторных часов 3 Онлайн 0	3 0 0	0 0 0
9-15	Раздел 2	7	7	0
9 - 10	Тема 4. Метод конечных объемов для численного решения многомерных задач Постановка двумерной и трехмерной задач теплопроводности. Начальные условия. Краевые условия. Условия на контактных границах в сложных областях. Метод конечных объемов на индексных сетках. Конечно-объемная аппроксимация двумерного уравнения	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0 0	0 0 0

	теплопроводности на четырехугольных сетках. Конечно-объемная аппроксимация трехмерных задач газовой динамики на индексных сетках.			
11 - 12	Тема 5. Метод конечных объемов для стационарной задачи конвекции-диффузии Операторные формы записи стационарных уравнений конвекции диффузии. Свойства операторов диффузионного и конвективного переноса в консервативной, неконсервативной и симметричных формах. Метод конечных объемов для стационарной задачи конвекции диффузии на треугольных сетках. Многоугольники Вороного, триангуляция Делоне, сеточные операторы переноса, их свойства и связь между ними. Условия монотонности схем вида $C_{\{1,2\}} u + Dy = f(x)$. Построение безусловно монотонных схем для стационарной задачи конвекции-диффузии.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0
13 - 14	Тема 6. Метод динамической адаптации для гиперболических уравнений Тема 6. Метод динамической адаптации для гиперболических уравнений Уравнения газовой динамики. Эйлеровы и лагранжевы переменные. Запись уравнений газовой динамики в произвольной нестационарной системе координат. Выбор функции преобразования. Принцип квазистационарности. Соотношения на разрывах и граничные условия. Построение разностной схемы для задачи газовой динамики в нестационарной системе координат. Расчет ударных волн без явного выделения разрыва. Расчет ударных волн с явным выделением разрыва.	Всего аудиторных часов 2 Онлайн 0	2 0	0
15	Тема 7. Метод динамической адаптации для параболических уравнений Запись дифференциальных моделей в подвижных системах координат. Принцип квазистационарности. Начальные и граничные условия в подвижных системах координат. Применение принципа квазистационарности для нелинейной задачи теплопроводности. Задача о формировании неподвижных фронтов. Задача о распространении тепловых волн. Динамическая адаптация в нелинейных уравнениях конвекции-диффузии. Уравнение Бакли — Леверетта. Уравнение Бюргерса.	Всего аудиторных часов 1 Онлайн 0	1 0	0

Сокращенные наименования онлайн опций:

Обозначение	Полное наименование
ЭК	Электронный курс
ПМ	Полнотекстовый материал
ПЛ	Полнотекстовые лекции

ВМ	Видео-материалы
АМ	Аудио-материалы
Прз	Презентации
Т	Тесты
ЭСМ	Электронные справочные материалы
ИС	Интерактивный сайт

6. ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

Лекции и семинары проводятся в традиционной форме. При выполнении домашнего задания студенты широко используют компьютерные технологии. Часть занятий, в частности получение ряда важных постановок задач, проведения математических выкладок и анализа результатов проводится в интерактивной форме дискуссии и предполагает активное участие студентов в освоении материала. Обязательным требованием является самостоятельная работа студентов, выполнение индивидуальных заданий, работа с литературой.

7. ФОНД ОЦЕНОЧНЫХ СРЕДСТВ

Фонд оценочных средств по дисциплине обеспечивает проверку освоения планируемых результатов обучения (компетенций и их индикаторов) посредством мероприятий текущего, рубежного и промежуточного контроля по дисциплине.

Связь между формируемыми компетенциями и формами контроля их освоения представлена в следующей таблице:

Компетенция	Индикаторы освоения	Аттестационное мероприятие (КП 1)
ПК-5	З-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-5	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-8.1	З-ПК-8.1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-8.1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-8.1	Э, КИ-8, КИ-15
ПК-3.1	З-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-15
	У-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-15
	В-ПК-3.1	Э, КИ-8, КИ-15

Шкалы оценки образовательных достижений

Шкала каждого контрольного мероприятия лежит в пределах от 0 до установленного максимального балла включительно. Итоговая аттестация по дисциплине оценивается по 100-балльной шкале и представляет собой сумму баллов, заработанных студентом при выполнении заданий в рамках текущего и промежуточного контроля.

Итоговая оценка выставляется в соответствии со следующей шкалой:

Сумма баллов	Оценка по 4-х балльной шкале	Отметка о зачете	Оценка ECTS
90-100	5 – «отлично»	«Зачтено»	A

85-89	4 – «хорошо»		B
75-84			C
70-74			D
65-69			E
60-64	3 – «удовлетворительно»		
Ниже 60	2 – «неудовлетворительно»	«Не зачтено»	F

Оценка «отлично» соответствует глубокому и прочному освоению материала программы обучающимся, который последовательно, четко и логически стройно излагает свои ответы, умеет тесно увязывать теорию с практикой, использует в ответах материалы монографической литературы.

Оценка «хорошо» соответствует твердым знаниям материала обучающимся, который грамотно и, по существу, излагает свои ответы, не допуская существенных неточностей.

Оценка «удовлетворительно» соответствует базовому уровню освоения материала обучающимся, при котором освоен основной материал, но не усвоены его детали, в ответах присутствуют неточности, недостаточно правильные формулировки, нарушения логической последовательности.

Отметка «зачтено» соответствует, как минимум, базовому уровню освоения материала программы, при котором обучающийся владеет необходимыми знаниями, умениями и навыками, умеет применять теоретические положения для решения типовых практических задач.

Оценку «неудовлетворительно» / отметку «не зачтено» получает обучающийся, который не знает значительной части материала программы, допускает в ответах существенные ошибки, не выполнил все обязательные задания, предусмотренные программой. Как правило, такие обучающиеся не могут продолжить обучение без дополнительных занятий.

8. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКОЕ И ИНФОРМАЦИОННОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

ОСНОВНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. ЭИ К 90 Математические вопросы численного решения гиперболических систем уравнений : учебное пособие, Семёнов А. Ю., Погорелов Н. В., Куликовский А. Г. , Москва: Физматлит, 2012
2. ЭИ Б 30 Численные методы : учебное пособие, Кобельков Г. М., Бахвалов Н. С. , Жидков Н. П., Москва: Лаборатория знаний, 2020

ДОПОЛНИТЕЛЬНАЯ ЛИТЕРАТУРА:

1. 519 Ч-67 Численные методы Кн.1 Численный анализ, , Москва: Академия, 2013
2. 519 Ч-67 Численные методы Кн.2 Методы математической физики, , Москва: Академия, 2013

3. 519 Ч-67 Численные методы решения уравнений с частными производными Ч.1 Разностные схемы для решения уравнения конвективного переноса (одномерное уравнение), , Москва: НИЯУ МИФИ, 2012

ПРОГРАММНОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ:

Специальное программное обеспечение не требуется

LMS И ИНТЕРНЕТ-РЕСУРСЫ:

<https://online.mephi.ru/>

<http://library.mephi.ru/>

9. МАТЕРИАЛЬНО-ТЕХНИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ УЧЕБНОЙ ДИСЦИПЛИНЫ

Специальное материально-техническое обеспечение не требуется

10. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ СТУДЕНТОВ

1. Проведение лекционных и практических занятий

В рамках курса предусмотрено проведение лекционных и практических занятий. Лекционные и практические занятия проводятся с применением современных образовательных технологий. Используя прослушанный на лекциях материал, студенты должны научиться решать поставленные перед ними задачи.

Большая часть лекционных и практических занятий проводится в интерактивной форме с привлечением мультимедийных технологий. В рамках занятий проводится активное обсуждение и анализ современных научных работ, вопросов и затруднений возникающих в процессе подготовки заданий.

На каждом занятии отмечается посещаемость студентов.

При изучении курса студентам рекомендуется внимательно ознакомиться с программой дисциплины, взять в библиотеке рекомендованную литературу.

2. Организация контроля успеваемости студентов

Организация контроля успеваемости студентов проводится с использование фонда оценочных средств по данной дисциплине (ФОС). Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

При проведении текущего контроля успеваемости по дисциплине используются

- Контроль по итогам

Рубежный контроль проводится дважды: в середине и в конце семестра.

Для допуска к экзамену необходимо закрыть на положительную оценку все предложенные в рамках текущего контроля задания.

11. УЧЕБНО-МЕТОДИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ ДЛЯ ПРЕПОДАВАТЕЛЕЙ

1. Проведение лекционных и практических занятий

В рамках курса предусмотрено проведение лекционных и практических занятий. Лекционные и практические занятия проводятся с применением современных образовательных технологий. Используя прослушанный на лекциях материал, студенты должны научиться решать поставленные перед ними задачи.

Практика показала, что для наиболее эффективного усвоения студентами материала данной дисциплины необходимо использовать интерактивные формы проведения занятий с привлечением мультимедийных технологий. В рамках занятий следует проводить активное обсуждение и анализ современных научных работ, проводить групповой поиск ответов на вопросы возникающие у студентов при подготовке заданий и во время лекционных занятий. Основной упор на лекционных занятиях должен делаться на понимание излагаемого материала и умение его использовать при выполнении заданий.

На каждом занятии следует отмечать посещаемость студентов. Рекомендуется не допускать студентов до сдачи контрольных мероприятий регулярно пропускающих занятия.

На первом занятии необходимо ознакомить студентов с программой дисциплины, а также предложить литературу, которая потребуется для успешного освоения материала.

2. Организация контроля успеваемости студентов

Организация контроля успеваемости студентов проводится с использование фонда оценочных средств по данной дисциплине (ФОС). Фонд оценочных средств (ФОС) – является неотъемлемой частью учебно-методического комплекса учебной дисциплины и предназначен для контроля и оценки образовательных достижений обучающихся, освоивших программу данной дисциплины.

При проведении текущего контроля успеваемости по дисциплине используются

- Контроль по итогам

Рубежный контроль проводится дважды: в середине и в конце семестра. Промежуточный контроль выставляется на основе экзамена.

Для допуска к экзамену необходимо закрыть на положительную оценку все предложенные в рамках текущего контроля задания.

Автор(ы):

Шильников Кирилл Евгеньевич